2001 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 191 ~ 196
한국과학기술원(KAIST) 기계공학동, 2001. 11. 30 ~ 12. 1

# 직결식 변속펌프의 운전 방안에 대한 연구

박종문*, 최성일*, 노형운**, 서상호***, 김상균****

# A Study on the Operating Characteristics of Variable Speed Pump for In-Line Booster Pumping Station

Jong-Moon Park*, Sung-Il Choi*, Hyung-Woon Roh**,
Sang-Ho Suh*** and Sang-Gyun Kim****

*Key Words: Pump System, Design(펌프시스템 설계), Optimization(최적화), Regional Water Supply Facilities(광역상수도), Total Head(전양정), Variable Speed Pump(변속펌프), 직결식 가압장(In-Line Booster Pumping Station)*

## ABSTRACT

In the systems with largely pipe head loss, variable speed pumps are generally used because substantial energy saving can be expected from such systems by controlling pump speed and also they offer simpler maintenance and operational ease even in conditions where abrupt changes in flow rate and head can occur. The invertor or the fluid coupling system are mainly adopted to control the rotating speed.

In this paper, operating conditions at Migum pressing pump station(5 stage), where the fluid coupling system was the first installed for KOWACO, are investigated and analysed so that information thus gained can be usefully employed in the efficient operation of variable speed pump in new installations of in-line booster pumping station.

## 1. 서론

상수도 시설기준에 따라서 최종목표 연도를 기준으로 펌프를 선정하다 보면 초기 연도 또는 운전기간 동안 비효율적으로 펌프설비를 운영하는 경우가 자주 발생하게 된다. 그러므로, 이미 시설된 펌프장의 운전에 따른 경제성 검토, 직결식 변속펌프의 운전방안, 펌프의 임펠러 조정 방안, 유량조절용 소용량 펌프의 적용 방안 등을 검토하여 신설되는 펌프장을 설계할 때 고려해야 될 사항을 다음과 같이 제시하고자 하여야 만 한다.

일반적으로 관로손실이 큰 시스템에서는 펌프를 회전속도 제어방식으로 운영할 때 에너지 절감 효과를 상당히 기대할 수 있고 유량 및 양정변화가 심해도 유지 운전 관리가 쉽기 때문에 위의 여러 고려사항 중 변속펌프를 적용하는 것이 바람직하다.

펌프회전 속도제어의 방법으로써는 벨트풀리를 이용하는 고전적인 방법으로부터 인버터 또는 유체커플링을 사용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 이 중 최근 가장 효율이 좋은 방법으로 알려져 있는 유체커플링을 이용하는 방법을 연구하였다. 따라서, 본 연구에서는 유체커플링을 이용하여 회전속도제어 운전방식을 채택한 미금가압장(5단계)의 운전현황을 파악하고 분석하여 직결식 변속펌프를 효율적으로 운전하고 새롭게 시설되는 설비에 반영할 수 있도록 제안 하고자 한다.

## 2. 연구대상 시설개요

수자원공사에서 운전중인 미금가압장은 수도권 광역상수도의 의정부계통 시설로서 1985. 9~1988.12월에 건설된 수도권 광역상수도3단계 시설공사(100,000㎥/일)와 1989. 12~1994. 2월에 건설된 수도권 광역상수

* 한국종합엔지니어링 기계전기부
** 조선대학교 항공조선공학부
*** 숭실대학교 기계공학과
**** 한국수자원공사 수도설비처

Table 1 Operating data at DukSou filtration plant

| 구 분 | 유출유량 FT(㎥/hr) | 정수지 운전수위 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | LT-A (m) | LT-B (m) | 평균 (m) | WL (m) |
| 최대 | 7,543 | 4.70 | 4.76 | 4.73 | 69.73 |
| 평균 | 6,200 | 3.93 | 3.95 | 3.94 | 68.94 |
| 최소 | 5,470 | 2.27 | 1.81 | 2.04 | 67.04 |

도4단계 시설공사(47,000㎥/일)및 1998년 준공된 수도권 광역상수도 5단계 시설공사(200,000㎥/일)의 단계별로 건설되었다. 또한, 장래 수요량 증가에 대비하여 6단계(250,000㎥/일)시설공사도 계획되었다.

수도권 광역상수도 3, 4단계에서는 팔당 제2 취수장에서 원수를 취수하여 와부정수장에서 정수처리한 물을 미금가압장에서 가압 송수하여 의정부시와 고양시로 공급한다. 수도권 광역상수도 5, 6단계에서는 팔당댐 하류의 덕소취수장에서 취수한 원수를 덕소정수장으로 보내 정수처리한 물을 미금가압장에서 직결 가압한 후 남양주시, 의정부시, 양주군으로 송수하고 의정부가압장에서 재 가압 하여 양주군과 고양시 일원에 공급하고 있다. 미금가압장은 수도권 광역상수도 3, 4단계 사업의 펌프장과 5, 6단계 사업의 펌프장으로 구분되어 있고 이 두 곳의 펌프장을 통합 운영하는 운영실 1곳으로 구성되어 있다.

3, 4단계 가압펌프장은 와부정수장으로부터 송수된 정수를 일시 체류할 수 있는 펌프 흡수정이 설치되어 있으며, 정격 동력이 500HP인 펌프 4대가 설치되어 정속 대수제어 운전을 하고 있는 3단계 펌프와 정격동력이 500HP인 펌프 2대와 200HP인 펌프 2대가 설치되어 대·소 용량 정속 대수제어운전을 하고 있는 4단계 펌프로 구성되어 있다.

5, 6단계 가압펌프장은 덕소정수장으로부터 구경 1,800mm의 배관을 통하여 자연유하되는 정수를 직결로(In-Line) 가압 송수하는 방식이며 정격동력이 1900HP인 펌프 3대가 설치되어 유체커플링에 의한 회전속도 제어 운전을 하고 있으며 장래 1대가 추가 설치될 예정이다.

덕소정수장 정수지는 실시설계 도면에서 정수지의 바닥이 EL 65.00 이며 측정수위를 감안하면 정수지의 WL은 Table 1과 같다. 정수지의 설계최고수위는 HWL 70.70 이며 설계 최저 수위는 LWL 65.20 이다. 또한 , 미금가압장의 운전자료는 2000. 2월부터 2000. 6월까지 데이터를 Table 2에 나타내었다. 수집된 운전자료 중에서 전류와 전력 값은 수전반에서의 데이터

Table 2 Monthly averaged operating data (2000.2~2000.6)

| 년월 | 송수량 (㎥/h) | 펌프회전속도 (rpm) | 기동반 (kW) | 흡입압력 (kg/㎠) | 토출압력 (kg/㎠) | Scoop Tube 개도(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 최대값 | 7,865 | 850 | 1,360 | 2.8 | 6.9 | 68 |
| 평균값 | 5,413 | 735 | 984 | 1.9 | 6.3 | 52 |
| 최소값 | 3,028 | 615 | 680 | 1.4 | 5.9 | 42 |

차이가 심하고 일관성이 결여되어 기동반에서의 값을 참고하였고 수전반에서는 전압 값만 참고하였다. 또한 펌프의 토출밸브 개도는 거의 완전 개방상태에서 운전하고있어 다음 월평균 운전자료에는 표시하지 않았다.

## 3. 결과 및 검토

### 3.1 운전현황 및 분석

년간 송수량 자료에서 2000. 1.15. 08:00의 1,830㎥/h이 최소값으로 나타났고 2000. 6.17. 23:00의 7,865㎥/h가 최대값으로 나타났으며 평균 송수량이 5,413㎥/h로 정격 송수량의 87%에서 운전되었음을 알 수 있다. 년간 월별 평균 송수량은 Fig. 1에 나타내었으며 일간 시간별 송수량은 Fig. 2에 각각 표시하였다. 월별 송수량 변화에서 12월부터 5월까지는 수요량이 적지만 6월부터는 정격 송수량에 가깝게 운전되고 있고 일별 송

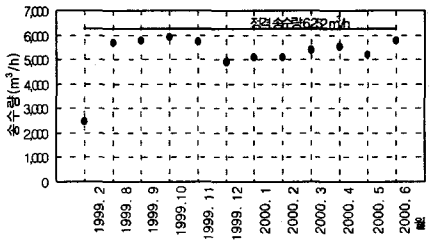



Fig. 1 Variation of monthly supply flow rate

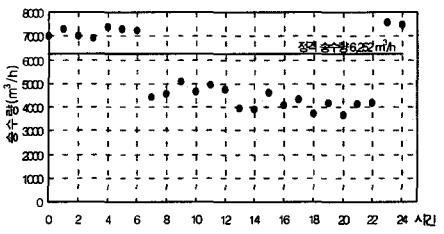



Fig. 2 Variation of timely supply flow rate

수량 변화는 1개월의 자료 중 3일간의 자료만 입력되어 추이를 알 수 없으나 시간별 송수량 변화에서 밤 23시에서 다음날 6시까지는 정격 송수량의 115% 정도까지 송수하고 있으며 오전 7시부터 22시까지는 정격 송수량의 65% 정도에서 운전하고 20시경에 가장 적은 송수량을 나타내고 있다. 이것은 전력요금이 저렴한 심야시간에 수요처의 고지대 배수지로 물을 송수하여 저장하고 낮 시간에는 배수지에서 자연유하로 배수함으로써 에너지를 절감하고자 함을 알 수 있다.

Table 3에서와 같이 미금가압장의 변속펌프 송수량은 정격송수량의 70%이하에서 125%까지 폭넓게 운전되고 있으며 정격송수량 부근(90%~110)의 운전은 전체 범위에서 19% 밖에 되지 않고 있음을 알 수 있다. 또한 정격송수량의 70% 미만에서 운전되고있는 분포가 27%로 나타나고 있다.

미금가압장 변속펌프의 정격 전양정은 덕소정수장 정수지의 최저수위(LWL65.20)와 의정부가압장 조절지의 최고수위(HWL83.00)의 차를 실양정으로 하고 미금가압장 상류단 및 하류단까지의 관로손실과 가압장 구내 배관손실에 의해 결정된 설계 전양정으로서 62m이다. 운전자료에는 전양정이 표시되지 않지만 펌프 흡입, 토출 압력자료에서 식 (1)과 같이 전양정을 산출하여 각각의 최대, 평균 및 최소값을 Table 4에 나타내었다.

$$H_T = \frac{Pd - Ps}{\gamma} + H\upsilon \qquad (1)$$

여기서 $H_T$ , Pd/$\gamma$, Ps/$\gamma$, 와 H$\upsilon$는 각각 전양정(m), 펌프토출 압력수두(m), 펌프흡입 압력수두 (m), 와 속도수두(m)를 나타낸다. 측정된 흡입압력수두와 토출압력수두의 데이터 중 최대값은 각각 28m, 69m이며 최소값은 각각 14m, 59m로 나타났다. 펌프의 전양정은 평균 45 m 정도로 운전되고 있으며 흡·토출 압력수두로 계산된 전양정 중에서 최대값은 51m이며 최소값은 36m 이다.

Table 3 Operating range of supply flow rate

| 정격 송수량 | 송수량 범위 | 분포도(%) |
|---|---|---|
| 120초과 | 7,502 초과 | 0 % |
| 110~120% | 6,878~7,502 | 19 % |
| 100~110% | 6,253~6,877 | 10 % |
| 90~100% | 5,628~6,252 | 9 % |
| 80~90% | 5,003~5,627 | 12 % |
| 70~80% | 4,377~5,002 | 23 % |
| 70% 미만 | 4,376 이하 | 27 % |

Table 4 Suction, discharge pressure and total head of pump

| 구 분 | 송수량 (㎥/h) | 흡입압력 수두(m) | 토출압력 수두(m) | 전양정 (m) |
|---|---|---|---|---|
| 최대값 | 7,865 | 28 | 69 | 51 |
| 평균값 | 5,413 | 19 | 63 | 45 |
| 최소값 | 3,028 | 14 | 59 | 36 |

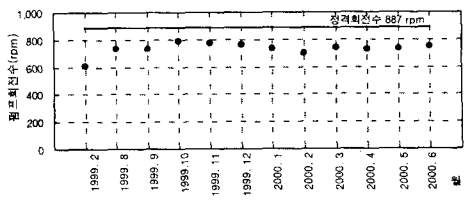
Table 5 Total head and loss head

| 구분 | 덕소정수지 WL(m) | 의정부 조절지 WL(m) | 실양정 Ha(m) | 전양정 Ht(m) | 손실양정 Hl(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 설계 | 65.20 | 83.00 | 17.80 | 62 | 44.20 |
| 최대 | 69.73 | 82.60 | 15.56 | 51 | 35.44 |
| 평균 | 68.94 | 80.90 | 11.96 | 45 | 33.04 |
| 최소 | 67.04 | 76.96 | 7.23 | 36 | 28.77 |

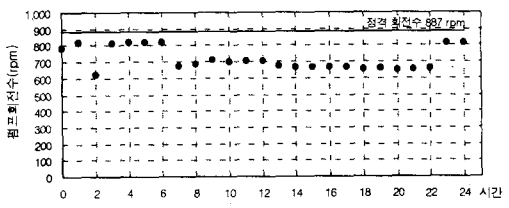
각 운전 수위로부터 실양정을 계산하여 전양정에서 뺀 값은 잔류수두와 손실수두로 나타내는데 이 값을 손실양정으로 하여 Table 5에 나타내었다.

실양정의 최대값은 의정부 조절지 최대수위에서 덕소정수지 최소 수위를 뺀 값이고 실양정의 최소값은 의정부 조절지 최소 수위에서 덕소정수지 최대수위를 뺀 값이다. 펌프의 년간 월별 흡입압력수두는 약 20 m로 거의 일정하나 토출압력은 변화가 심하게 나타나고 있다. 그러나 시간별 토출압력은 일정한 시간동안 일정하게 유지되며 이것이 정기적으로 나타남을 알 수 있다. 이것은 변속펌프 운전방식 중 펌프 토출압 일정제어 방식으로 운전하고 있음을 나타내며 시간대 별로 수동조작을 하고 있음을 알 수 있다.

미금가압장 펌프는 유체커플링에 의한 회전속도 제




Fig, 3 variation of monthly rotating speed




Fig, 4 variation of timely rotating speed

Table 6 Scattering distribution of Operating speed

| 정격 회전속도대비 (%) | 운전회전속도범위 (rpm) | 산포(%) |
|---|---|---|
| 100이상 | 888이상 | 0 |
| 90~100% | 798~887 | 25 |
| 80~90% | 710~797 | 32 |
| 70~80% | 621~709 | 43 |
| 70% 미만 | 621 미만 | 0 |

어운전을 하고 있다. 1999. 2월부터 2000. 6월까지 운전결과에 따른 회전속도는 Fig. 3에 월별 평균 회전속도와 Fig. 4에 시간별 회전속도를 각각 나타내었다.

펌프의 정격 회전속도는 887rpm이며 대부분의 운전 회전속도는 정격 회전속도 이하에서 운전되고 있고, 23시에서 06시까지는 정격 회전속도 부근에서 운전되었으며 07시에서 22시까지는 평균 700rpm 정도에서 운전되어졌다. 운전 회전속도의 최대값은 850rpm, 평균값은 735rpm 및 최소값은 615rpm으로 나타났다.

전체의 운전자료에서 각 회전속도 범위의 산포를 Table 6에 표시하였다.

### 3.2. 종합 효율

펌프설비의 종합효율을 검토하기 위하여 운전자료로부터 식 (2)와 (3)으로 종합효율(Et(%))을 계산하였다.

$$Et = Lw/Ls \times 100\ [\%] \quad (2)$$

$$Et = Em \times Ec \times Ep\ [\%] \quad (3)$$

여기서 Em, Ec, 와 Ep는 각각 모터의 효율(96.39%), 커플링의 효율과 펌프의 효율을 나타낸다.

위의 식으로 계산한 펌프설비의 종합효율에 대하여 월평균 자료를 다음 Table 7에 나타내었으며 전체 월평균 종합 효율은 66.7%이다. 이 종합효율은 모터효율, 펌프효율 및 유체커플링효율을 개별로 측정할 수 없어 모터효율을 96.39%로 계산한 펌프 및 유체커플링 효율이 포함된 종합효율이다. 전체 운전 자료 중 데이터가 불명확하여 효율이 90%이상 되는 운전 데이터를 제외한 운전자료 중 최고 효율은 88.3%이며 최저 효율은 30.7%으로 나타났다.

운전자료로부터 송수유량에 따른 종합효율을 Fig. 5에 나타내었다. 위의 추세곡선으로부터 정격유량인 6,250 ㎥/hr를 송수할 때 종합효율은 73 % 정도이며 모터, 펌프 및 유체커플링 효율을 구분할 수는 없다.

Table 7 A monthly averaged total efficiency

| 년.월 | 송수량 (㎥/h) | 전양정 (m) | 전동기 입력 (kW) | 수동력 (kW) | 종합효율 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 최대값 | 7,865 | 57.5 | 1,351 | 1,143 | 88.3 |
| 평균값 | 5,453 | 46.0 | 1,016 | 688 | 66.7 |
| 최소값 | 1,830 | 33.3 | 706 | 219 | 30.7 |

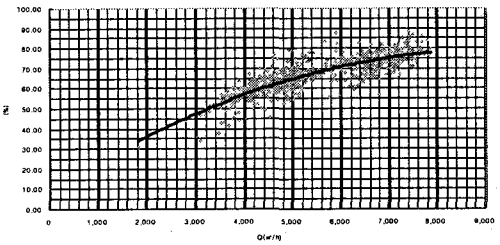


Fig. 5 Variation of pump efficiency as increased flow rates

### 3.3. 변속펌프의 특성

펌프의 송수량은 회전속도에 비례한다는 상사법칙에 따라 운전자료로부터 유량과 회전속도의 관계를 다음 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서의 각 운전점을 추세곡선식으로 나타내면 다음과 같고 이 추세곡선식은 회전속도 범위 600~900 rpm에서 사용할 수 있다.

펌프의 양정은 회전속도의 제곱에 비례하는 관계식을 운전자료로부터 Fig. 7에 나타내었다. 또한 추세곡선식을 회전속도 범위 600~900 rpm에서 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$N = 18.935 \times Q(㎥/h) - 8683.9\ [rpm]$$

$$H = 0.00009 \times N^2 + 67.569\ [m]$$

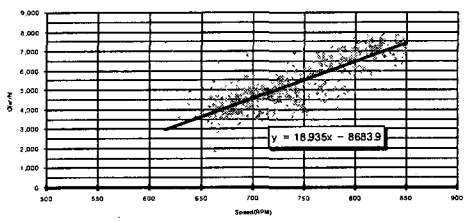



Fig. 6 Rotating speed curve vs flow rate

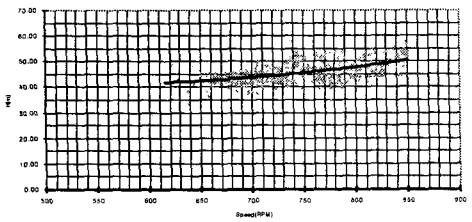


Fig. 7 Rotating speed curve vs total head

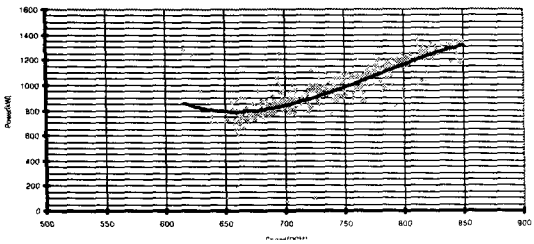


Fig. 8 Rotating speed curve vs power

펌프의 동력과 회전속도와의 관계를 운전자료로부터 Fig. 8에 나타내었다. 펌프의 동력은 기동반의 전력량계 눈금을 읽은 운전자료의 데이터로 표시하였다. 동력과 회전속도의 추세곡선식은 회전속도 범위 650~850 rpm에서 다음과 같다.

$$L = -0.00009 \times N^3 + 39216 \text{ [kW]}$$

펌프의 회전속도는 유체커플링의 출력 축의 회전속도와 같으며 유체커플링의 회전속도는 유체커플링의 오일 양을 조절하는 Scoop Tube의 선형 개도에 의하여 결정된다. 따라서 Scoop Tube의 개도에 따른 회전속도의 관계를 운전자료로부터 Fig. 9에 나타내었으며 운전자료로부터 다음의 추세곡선을 얻을 수 있다. 이 추세곡선식은 회전속도 범위 600~900 rpm에서 사용할 수 있다

## 4. 변속펌프 운영

미금가압장은 5단계사업으로 변속펌프 3대가 설치되어있고 6단계사업으로 1대를 추가로 설치하여 총 3 Scoop Tube 개도(%) = 0.1217 x N - 37.737대가 운전하고 1대는 예비기로 활용될 계획이다. 또 4대 모두 동일용량으로 계획되어 있고 변속장치로써는 유지관리가 용이하고 내구성이 우수한 유체커플링이 사용되었다. 그러나 유체커플링은 고가의 장비이므로 추가로

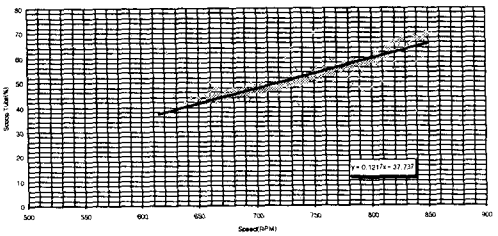


Fig. 9 Rotating speed curve vs Scoop Tube opening

설치되는 펌프를 정속펌프로 선정 할 경우의 타당성을 검토하여 Fig. 10에 나타내었다.

그림에서 각 펌프는 정격유량의 70~120% 범위에서 운전하는 것으로 하고 그 범위를 가는 점선으로 표시하였으며, 변속펌프 1대 운전시 회전속도는 70%일 때와 100%일 때의 성능곡선을 표시하였고, 변속펌프 2대 운전시 회전속도는 70%, 80%, 90% 및 100%의 합성곡선을 각각 표시하였다.

또한 정속펌프 1대와 변속펌프 2대 운전의 합성곡선을 표시하였으며 변속펌프는 범례에 표시한 바와 같이 83%, 85%, 90%, 95% 및 100%의 회전속도에 대한 합성곡선을 나타내었다. 최대실양정 일 때의 시스템 곡선을 기준으로 소요 유량에 따른 운전범위는 다음과 같다.

위 Table 8과 Fig. 10에서 소요 유량범위 12,500~16,560 ㎥/h에서는 일부가 변속펌프 2대의 회전속도 제어범위에 들지만 시스템 곡선보다 높은 양정범위에서 운전하거나, 유량범위가 120%를 초과하는 과대유량 범위에서 운전하게 된다. 또한 일부는 1대의 정속펌프+2대의 변속펌프(83%N) 운전범위에 속하여 있으나 시스템 곡선보다 높은 양정 범위에서 운전되어져야 한다. 이 것은 그만큼 전력손실을 감수하여야 하는 것을 보여주는 것이다.

즉 정속펌프와 변속펌프의 병렬운전에서, 정속펌프의 최대유량점에서 변속펌프의 최저 회전속도 성능곡선을 잇는 합성곡선 이하의 양정 범위와 변속펌프 2대의 변속운전 범위에서 최대유량(120%Q) 이상의 범위(점 A,B,C 내부범위)에서는 펌프를 시스템 곡선에 따라 최적운전 할 수가 없다.

따라서 본 미금가압장에 추가로 선정되는 6단계용 펌프는 시스템 곡선이 실양정에 따라 변화하여도 펌프의 운전범위가 넓고, 단일 신호에 의한 3대의 변속이 용이하여 안정적 운전이 가능한 동일 용량의 변속펌프를 설치하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

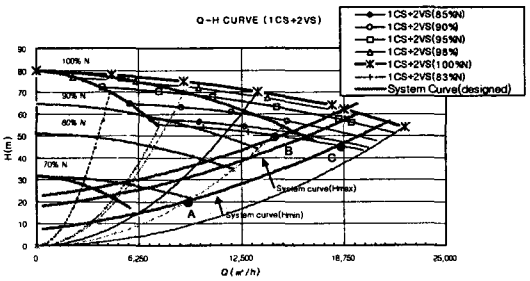



Fig. 10 Composited curves variable of constant speed pump

Table 8 Series operating plan as the required flow rate

| 소요 유량 | | 변속펌프 | | 정속펌프 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| (㎥/h) | (%) | 1호 | 2호 | 1호 | |
| 2,500~ 5,000 | 13→26 | o | | | |
| 5,000~12,500 | 26→66.6 | o | o | | |
| 12,500~16,560 | 66.6→88.3 | o | o | | 과대유량범위 |
| 16,560~18,750 | 88.3→100 | o | o | o | |

## 5. 결론

미금가압장(5단계) 펌프설비의 운전현황에서 평균 송수량은 정격 송수량의 87% 인 5,413 ㎥/h, 평균 양정은 45 m, 평균 회전속도는 740 rpm 이며 종합효율은 평균 66.7%로 운전하고 있다. 본 가압장은 최적 운전을 위한 용수공급체계에 따라 5단계 송수배관을 기존의 3·4단계 관로와 연결 운영을 하고 있어 부득이 펌프 토출압력을 6.2 kg/㎠에 설정한 토출압력 일정제어방식으로 운전하고 있다. 따라서 의정부가압장 조절지에서는 평균 2.6 kg/㎠의 잔류수두가 남아 있는 상태이다. 이러한 운영은 3, 4단계의 펌프 운전대수를 줄일 수 있어 미금가압장을 효율적으로 가동하기 위한 운전방법이라고 판단되며, 향후 3, 4단계 펌프가 정상운영될 경우에 5단계의 변속펌프를 3·4단계 관로와 분리하고 관로 말단압력 일정제어방식으로 변경 할 경우 평균송수량 5,413 ㎥/h에서 운전 양정 45 m를 24m로 낮출 수 있어 약 46%의 전력을 더 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

송수량은 정격 운전범위에서 운전된 경우가 19%이며 정격유량의 70%미만에서 운전된 경우가 27%로서 저효율 운전범위에서 운전된 경우가 62%로 나타났다. 펌프는 저유량 영역에서 펌프의 효율이 급격히 감소하며 대유량 영역에서 과부하의 우려가 있으므로, 정상적인 운전범위는 정격유량의 90~110%로 하는 것이 바람직하며 변속펌프의 설계 시에는 펌프정격유량의 70~120%를 운전 한계로 정하고 운전대수에 따른 합성곡선을 작성하여 변속펌프의 운전범위를 확인하여야 한다.

변속펌프와 정속펌프의 병렬운전에서, 정속펌프의 최대유량점에서 변속펌프의 최저 회전속도 성능곡선을 잇는 합성곡선 이하의 양정 범위와 변속펌프 2대의 변속운전 범위에서 최대유량(120%Q) 이상의 범위에서는 시스템 곡선에 따른 최적운전을 할 수가 없으므로 이러한 경우 증설되는 펌프는 변속펌프로 추가함이 바람직하다.

## 후 기

이 연구는 한국수자원공사 수도설비처 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

(1) 상수도 시설기준(환경부)
(2) 상수도 시설기준(유지관리편) (환경부)
(3) 하수도 시설 기준(환경부)
(4) 수도권 3단계 광역상수도 공사지, 1990, 건설교통부
(5) 수도권 4단계 광역상수도 실시설계보고서, 1990.9 건설교통부
(6) 수도권 5단계 광역상수도 실시설계보고서, 1995.11 한국수자원공사 7. 수도권 6단계 광역상수도 실시설계보고서, 1998.12 한국수자원공사
(7) 수도권 6단계 광역상수도 실시설계보고서, 1998.12 한국수자원공사
(8) 원주권 광역상수도 실시설계보고서, 1998.12 한국수자원공사
(9) 펌프모터 설비용량 설계지침. 2000.8 한국수자원공사
(10) ROBERT L. SANKS, PUMPING STATION DESIGN, 2nd edition.
(11) 유체기계, 조강래. 보성문화사
(12) 효성펌프편람, 제4판, 효성EBARA주식회사
(13) 펌프핸드북, 2000.10. 현대중공업주식회사
(14) 水道施設 設計 指針, 2000. 日本水道協會
(15) PUMP設備計劃便覽
(16) PUMP設備便覽. (株)荏原製作所
(17) '97녹색모터운동 시범사업 종합보고서, 에너지관리공단, 1997.12